

схеме «идеальной машины», а по схеме «идеального лазера», не индустриальными социальными и экономическими технологиями, а только как синергетический переход России в постиндустриализм, т.е. в общество социальных и иных синергетических технологий. Следующий длинный кризис, который России предстоит пережить в 2070–80-х годах, будет уже кризисом самого постиндустриализма.

*В. В. Кисляков*

## **ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ОДНОГО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ В МЕХАНИКЕ МАШИН И АНАЛОГИИ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ**

Развитие цивилизации в техногенном направлении привело ее в начале третьего тысячелетия к кризису, который накапливался последние 10 тысяч лет. Одной из сторон этого кризиса является воздействие человека на природу, начиная с каменного топора и, в настоящее время, «топором термоядерным». Этим топором постепенно уничтожается возможность существования человека на Земле. В. И. Вернадский считал область проявления техногеоза не ноосферой (ведь с помощью техники творятся и неразумные дела), а техносферой. Для того, чтобы не вывести биосферу из устойчивого состояния, техносфера по своей структуре должна стать похожей на биосферу. Путь к этому – конвергенция, то есть создание человеком техники и технологии, все более близким к объектам природным. Для создания ноосферы нужны коллективные усилия в создании рукотворной природы близкой к живой. Тогда развитие цивилизации в этом направлении будет совершаться в соответствии с ее нравственным, культурным развитием и осуществлением девиза Ж-Ж. Руссо «Назад к природе» на более высокой спирали развития. Может быть более соответствует девиз «Вперед к природе».

Сила разума человека заключена в способности создавать и использовать мощную технику.

Так связан, соединен от века

Союзом кровного родства

Разумный гений человека

С творящей силой естества...

**Ф. И. Тютчев**

В направлениях развития природы и техники есть аналогии. Их можно выявить на примере истории развития некоторых объектов механики машин. Волнообразное движение как способ передвижения, характерно для многих живых существ, например, движение туловищ пресмыкающихся. Известно, что большая скорость передвижения дельфинов обусловлена волнообразным деформированием их кожного покрова. Механизмы, как средства передвижения и устройства для преобразования движения, развивались большей частью (за исключением рычажных и им подобных) на основе изобретения человеком колеса. Волновой принцип движения в механизмах и машинах стал использоваться только в XX

веке. Возможность использования механизмов с волнообразно-упругодеформируемыми звеньями указана в работах И. И. Артоболевского и Ф.М.Куровкина.

Симбиоз волнового движения, характерного для природы и вращательного движения, широко используемого в технике проявился в изобретенной А. И. Москвитиным в 1944 г. фрикционной передаче с электромагнитным генератором волн и в 1959 г. В. Массером волновой зубчатой передачи с механическим генератором. *Передача имеет три кинематических звена: гибкое колесо  $g$ , жесткое колесо  $b$  и генератор  $h$ . Гибкое колесо  $g$  выполнено в виде цилиндра, на кольцевом утолщении которого нарезаны наружные зубья. Зубья гибкого колеса зацепляются с зубьями жесткого колеса, нарезанными на внутренней цилиндрической поверхности. Применяются два варианта конструкции: с неподвижным жестким колесом (рис.1,а) и неподвижным гибким колесом (рис.1,б). Генератор  $h$  волн деформации вставлен в гибкое колесо. При вращении генератора волн гибкое колесо, деформируясь в форме эллипса, образует по большой оси две зоны зацепления (рис.1,б). Вращение генератора с угловой скоростью  $\omega_h$  вызывает вращение гибкого колеса с угловой скоростью  $\omega_g$  или жесткого колеса с  $\omega_b$ . На рис.1,в показана схема герметичной волновой передачи. С ее помощью осуществляют передачу вращения из герметичного пространства без применения подвижных уплотнений.*

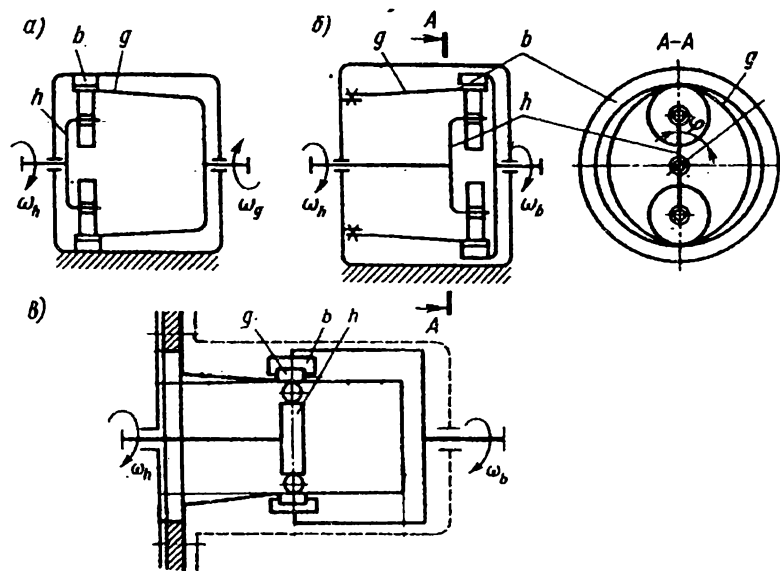


Рис. 1

При неподвижном жестком зубчатом колесе частота вращения выходного вала уменьшается пропорционально отношению числа зубьев гибкого колеса к разности чисел жесткого и гибкого колеса. При неподвижном гибком колесе частота вращения выходного вала уменьшается пропорционально отношению числа зубьев жесткого колеса к разности чисел зубьев жесткого и гибкого колеса. Поэтому выходной вал вращается в 80-300 и более раз медленнее, чем входной.

На рис.2 изображен график радиальных перемещений  $w$  гибкого колеса, вызванных его деформированием генератором волн. За координату по оси абсцисс принять угол  $\varphi$  (рис.1).

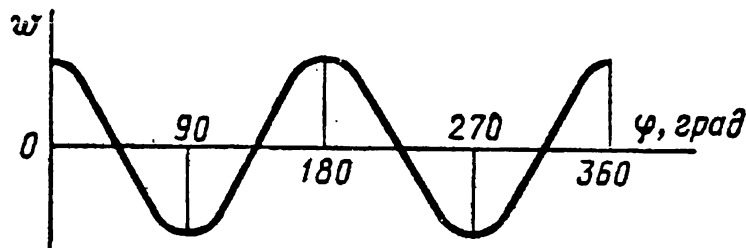


Рис. 2

График подобен мгновенной фотографии поперечной волны. При вращении генератора волна перемещений бежит по окружности гибкого колеса. Поэтому передача названа волновой. Если сравнивать со способами движения рыб, то можно увидеть много общего. На рис.3 показаны движения рыб: А,Б – при помощи волнообразных движений тела (соответственно угорь и треска), В – слева – при помощи анального плавника (электрический угорь), справа – при помощи грудных плавников (скат).

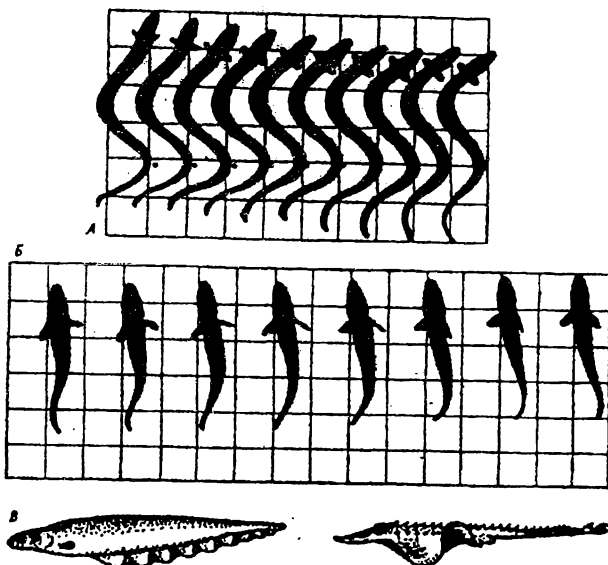


Рис. 3

Сравнивая структурную схему волновой передачи со структурными схемами ранее известных передач, можно видеть следующие принципиальные различия: во всех ранее известных механических передачах преобразование движения осуществляется по принципу рычага или принципу наклонной плоскости; принцип рычага используется в зубчатых, фрикционных, ременных и цепных передачах; по принципу наклонной плоскости работают червячные и винтовые механизмы. В волновых механизмах преобразование движения осуществляется за счет волнового деформирования гибкого звена. Можно сравнить также с движением гусеницы или змеи.

Изобретатели волновой передачи превратили этот механизм в механизм непрерывного действия с большим постоянным передаточным отношением, поэтому волновая передача, особенно зубчатая, получила широкое применение. В некоторых областях техники, например в космической и вакуумной, незаменима. В этой творческой деятельности по созданию механизмов и машин проявилась человеческая индивидуальность. О созданных человеком машинах можно сказать то же, что сказал Ф. И. Тютчев о природе:

Не то, что мните Вы, Машина  
 Не слепок, не бездушный лик,  
 В ней есть душа, в ней есть свобода,  
 В ней есть любовь, в ней есть язык.

Для передачи вращательного движения на значительное расстояние между параллельными валами в технике сотни лет широко используются передачи с гибкими связями: ременные и цепные. Эти передачи не позволяют значительно уменьшить скорость вращения. Волнообразный принцип деформирования гибкой связи позволяет устранить этот недостаток, а применение зубчатого зацепления – повысить передаваемую нагрузку.

В качестве гибкой связи могут применяться зубчатые ремни, цепи роликовые и зубчатые, гибкие волнообразные металлические ленты. На рис. 4 показана конструктивная схема волновой передачи с волнообразной упругой металлической лентой. Она содержит установленный на ведущем валу 1 генератор волн 2, на который надет гибкий подшипник 3.

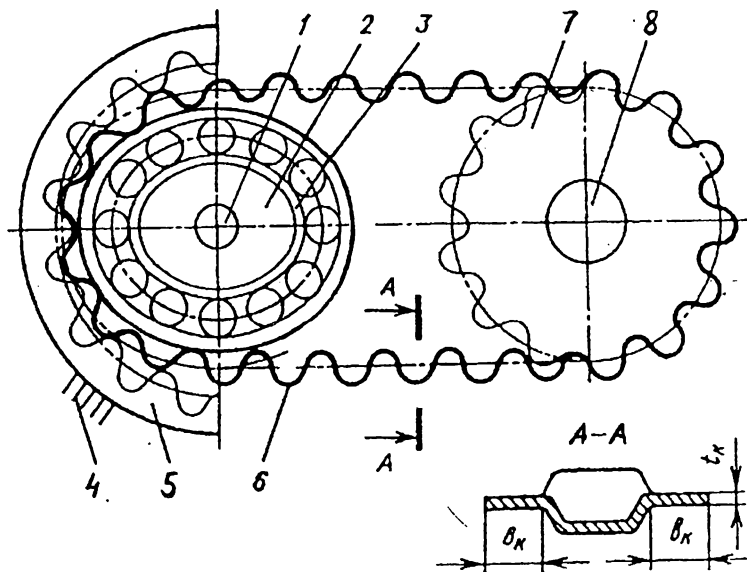


Рис. 4

В корпусе 4 закреплен зубчатый сектор 5. Между подшипником и сектором пропущена гибкая лента 6. Лента охватывает ведомый шкив 7 на валу 8. При вращении вала генератора лента 3 волнообразно деформируется и ее выступы входят в зацепление с зубьями сектора. Волна деформации ленты обеспечивает перемещение зубчатого зацепления в направлении вращения вала генератора в пределах сектора. Лента перемещается в противоположном направлении и вращает ведомый шкив и вал.

В развитии техники прослеживается все более широкое применение волновых элементов. Переход от эвольвентного зубчатого зацепления к круговому зацеплению М. Л. Новикова позволил повысить нагрузочную способность передач. Теория М. Л. Новикова может быть использована для создания подшипников большой грузоподъемности. Волновой профиль таких подшипников можно определить по условию создания гидродинамического эффекта, теорию которого заложил в 1883 г. Н. П. Петров. Движение аналогично движению в человеческих суставах. Роликовый подшипник (рис. 5) содержит внутреннее 1 и наружное 3 кольца, между ними расположены ролики 2. Рабочие поверхности колец и роликов выполнены с профильными выступами 4 и впадинами 5. Выступы и впадины могут быть очерчены сопряженными дугами окружностей. При вращении внутреннего кольца или наружного начинают вращаться ролики. Происходит качение выступов роликов по впадинам колец и впадин роликов по выступам колец. Так как выступы и впадины колец и роликов имеют различную кривизну, то образуется клиновидный зазор. Масло попадает в клиновидный зазор и при вращении роликов и колец нагнетается в суживающуюся часть клиновидного зазора. Давление масла повышается, между роликами и кольцами образуется непрерывный масляный слой, позволяющий уменьшить трение в подшипнике. В отличие от обычных подшипников грузоподъемность такого подшипника благодаря волнистым поверхностям в несколько раз больше.

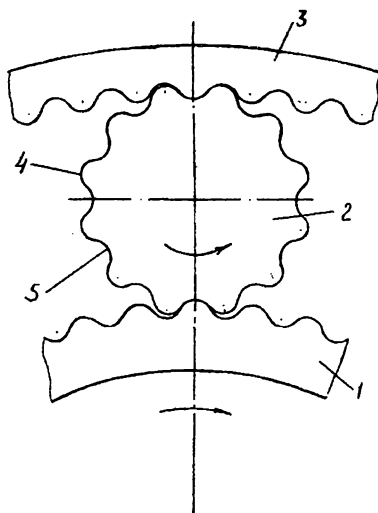


Рис. 5

Для уменьшения трения природа пошла разумным путем: между костями в сочленениях находится хрящевая ткань, окружающая полость с синовиальной жидкостью. Предложено аналогичное устройство подшипников. Кроме волновых передач с гибкими связями, подшипников, волновые упругие элементы мо-

гут быть применены в упругопредохранительных муфтах. Такие муфты обладают комплексом достоинств: компенсируют несоосность валов, предохраняют от перегрузок, компактны. Волнообразная лента более технологична, чем змеевидная пружина в известной муфте. Упругопредохранительная муфта с волнообразными упругими элементами (рис. 6) содержит две полумуфты 1 и 2, внутренние поверхности которых выполнены волнистыми в поперечном сечении, резиновую ленту 3 и упругую стальную ленту 4, которая имеет волнистый профиль в поперечном сечении, повторяющий профиль полумуфты в поперечном сечении. На торцах полумуфт, обращенных друг к другу выполнены волнообразные выступы 5, внутренняя поверхность 6 которых выполнена сферической. Впадины 7 на торцах полумуфт являются продолжением впадин, образованных волнообразными поверхностями в поперечном сечении. Полумуфты 1 и 2 установлены с осевым зазором  $X$  в продольном сечении. На выступах и впадинах стальной ленты 4 посередине ее длины выполнены продольные отверстия 8 и 9.

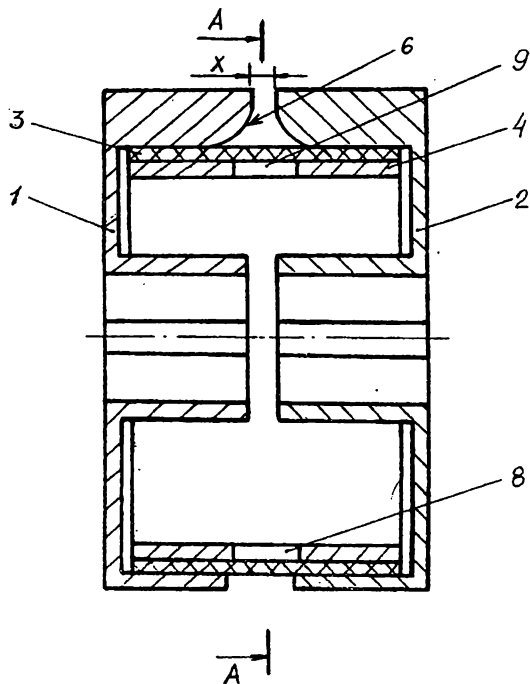


Рис. 6а

Передача крутящего момента осуществляется боковыми поверхностями выступов на наружной поверхности резиновой ленты 3, прижимаемой стальной лентой 4 вследствие сил упругости и центробежных.

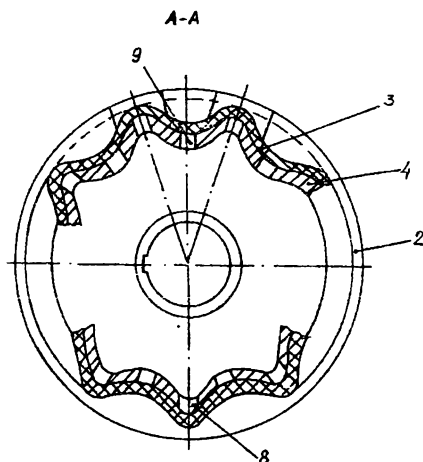


Рис. 66

При увеличении нагрузки упругие эластичная и стальная ленты изгибаются в зазоре X между полумуфтами. Благодаря выпуклой поверхности выступов на торцах полумуфт упругая характеристика муфты, то есть зависимость между передаваемым крутящим моментом и углом относительного смещения полумуфты является нелинейной. Следовательно, муфта обеспечивает выход из резонанса. Отверстия 8 и 9 в стальной ленте позволяют увеличить угол закручивания, то есть улучшить упругие свойства муфты.

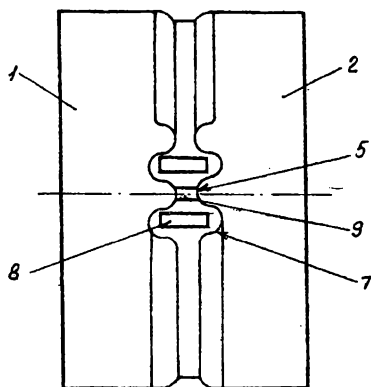


Рис. 6в



История развития вышеперечисленных волновых элементов в механике машин показывает конвергенцию их с природой.

При этом наблюдаются общие принципы совершенствования механических свойств в природе и этих технических объектов:

1. Многоконтактность. У человека на руках и ногах несколько пальцев. В волновых передачах, подшипниках и муфтах с волновыми элементами многоконтактность позволяет увеличить передаваемую нагрузку и точность.

2. Композитность конструкций. Стволы и ветви растений, конечности человека и животных представляют собой композитные системы. Для волновых зубчатоременных передач – резиновые или пластмассовые зубья ремня и несущий корд, в подшипниках – слой материала с упругими свойствами, в муфтах – резиновая лента.

3. Уменьшение контактных напряжений для повышения долговечности. В природе устройство ступней, ладоней, суставов человека, обеспечивающее многоконтактность. Волновой профиль позволяет уменьшить приведенный радиус кривизны и, в соответствии с теорией Г. Герца, уменьшить контактные напряжения.

4. Поглощение и отдача механической энергии. У людей и животных эти функции выполняют в основном сухожилия и хрящи, в волновых подшипниках – упруго-смазочные покрытия рабочих поверхностей и создание режима жидкостной смазки, в муфтах упругие резиновые и металлические элементы.

В соответствии с аналогиями в истории развития природы и техники можно предположить, что совершенствование волновых передач, подшипников и муфт будет в следующих направлениях:

1. Расширение применения композитных материалов для волнообразно-деформируемых звеньев, как наименее долговечных элементов.

2. Применение материалов, способных восстанавливать первоначальную форму через некоторое время после деформирования. Можно думать, что имеется некоторая аналогия с системой условных рефлексов в животном мире.

Конвергенция рукотворной природы с живой, то есть процесс создания технических объектов, близки по своей структуре к природным, возможна только на пути коэволюции, «то есть такого изменения образа жизни людей, который согласовал бы их потребности с возможностями сохранения биосферы в том канале эволюции, который породил феномен человека». Случайно ли создание в XX веке механических устройств, в которых применяется принцип движения, близкий к движению живых существ или нет – покажет будущее. Так же как нет пока ответа на вопрос может ли возникнуть цивилизация, для которой экологические императивы столь же естественны, как и стремление к сохранению жизни человека. И снова уместно вспомнить Ф. И. Тютчева:

Скажи заветное он слово –  
И миром новым естество  
Всегда откликнуться готово  
На голос родственный его.